

Ohmov zakon i koncept električne energije u nastavi fizike

Slunjski, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:536084>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Toni Slunjski

OHMOV ZAKON I KONCEPT ELEKTRIČNE
ENERGIJE U NASTAVI FIZIKE

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I TEHNIKE S INFORMATIKOM

Toni Slunjski

Diplomski rad

**Ohmov zakon i koncept električne energije
u nastavi fizike**

Voditelj diplomskog rada: dr. sc. Darko Androić

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2016.

Zahvaljujem roditeljima na bezuvjetnoj podršci tijekom svih godina školovanja i studija. Posebno zahvaljujem djevojci Ines na velikoj pomoći pri sakupljanju podataka i izradi ovog rada. Njenoj obitelji te svim svojim bliskim prijateljima i rodbini zahvaljujem na strpljenju.

Mentoru, prof. dr. sc. Darku Androiću, zahvaljujem na prijedlogu teme rada i svim danim savjetima i smjernicama prilikom obrade podataka.

Također, zahvaljujem ravnateljici Prve privatne gimnazije u Varaždinu, Nives Risek na zaposlenju i pruženoj prilici da steknem iskustva rada u nastavi, ravnatelju Elektrostrojarske škole Igoru Kosu, svim kolegicama i kolegama profesorima, a posebno profesorima fizike Tomislavu Horvatu i Denisu Barčotu na vrijednim savjetima, profesorici hrvatskog jezika Mariji Oto Sačer na lekturi čitavog rada te profesorici engleskog jezika Dijani Mrazek Bosilj na prijevodima.

Učenicima Prve privatne gimnazije te učenicima svih A i B razreda Elektrostrojarske škole Varaždin zahvaljujem na sudjelovanju i ispunjavanju upitnika na kojem se temelji cjelokupni rad.

Sažetak

Fundamentalni koncepti električnog otpora, napona i jakosti električne struje te električne energije imaju ne samo stručno tehničko značenje, već i opći, civilizacijski značaj. Iako se u srednjoškolskoj nastavi, ovisno o usmjerenju, temama vezanim uz električnu struju i električnu energiju daju različite težine značenja, morale bi biti podjednako usvojene u svim programima koji podučavaju ovo područje. Usprkos tome postoji dojam da ovi koncepti nisu jednako usvojeni u gimnazijskim sredinama u odnosu na tehničke i stručne škole.

Postoje li razlike u shvaćanjima temeljnih električnih fizikalnih veličina i zakona između učenika gimnazija i učenika tehničkih škola, glavno je pitanje ovog diplomskog rada. Stoga je konstruiran set relevantnih pitanja objektivnog tipa u obliku upitnika koji je zatim proveden u sve četiri generacije učenika gimnazije i elektrotehničke škole. Detaljna analiza rezultata testnog uzorka, kao i najčešćih miskoncepcija u razumijevanju spomenutih pojmova, također utvrđenih provedenim upitnikom, dana je u ovom radu.

Ohm's law and the concept of electricity in high school physics

Abstract

Fundamental concepts of electrical resistance, voltage, current and electricity are meaningful not only in technical professions, but they also have a broader cultural significance. Although, depending on the program, issues related to electric current and electricity are not equally important in high school teaching, they should be equally adopted in all programs that cover this area. Nevertheless, there is the impression that these concepts are not equally addressed in all high-school programs compared to technical and vocational schools.

The main question of this thesis is whether there are in fact differences in the understanding of basic electrical physical quantities and laws between high school students and students of technical schools. Therefore, a set of relevant objective type questions in the form of a survey was designed and then carried out in all four generations of pupils of the Gymnasium and School of Electrical Engineering. Detailed analysis of the results of the test sample, as well as the most common misconception about the understanding of these terms also established in the survey, are given in this paper.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Pojmovi i koncepti područja elektrotehnike.....	3
2.1. Napon.....	3
2.2. Električna struja	3
2.3. Otpor i spajanje otpornika.....	4
2.4. Električna energija i snaga.....	4
3. Ohmov zakon i električna energija u programu nastave osnovne i srednjih škola.....	6
4. Ispitivanje stupnja razumijevanja Ohmovog zakona i koncepta električne energije kod učenika srednje škole.....	11
4.1. Cilj istraživanja	11
4.2. Metoda istraživanja.....	11
5. Zaključak	24
Dodaci.....	26
Dodatak A: Upitnik.....	26
Literatura	29

1. Uvod

Premda je Ohmov zakon jedan od najbitnijih fundamentalnih zakona elektrotehnike, smatra se da ga učenici srednjih škola dovoljno ne razumiju. Pojmovi, odnosno, fizikalne veličine koje taj zakon povezuje, apstraktni su im i često ih miješaju. Tako se primjerice struja „iz“ baterije troši u žarulji, napon, koji je učenicima obično potpuno nejasan, zamjenjuje se kapacitetom i slično. Koncept električne energije također kod većeg broja učenika nije vezan uz elemente strujnog kruga, već im predstavlja potpuno drukčiju teoriju, što zapravo ne iznenađuje, jer i onako vlada mišljenje da se „ne plaća električna energija, nego struja“. Nažalost, sve te i mnoge druge miskoncepcije vezane za ovo područje znanosti toliko su ukorijenjene u širem društvu i usmenoj predaji da ih je nastavnicima fizike i srodnih predmeta prilično teško pobiti.

Upravo je na nastavnicima odgovornost da sve te pojmove (električna struja, napon, otpor, energija...) koje učenici neprestano susreću u životu temeljito obrade i objasne. U nastavnom programu fizike srednje škole, kako u gimnazijskom tako i u strukovnom okruženju, spomenuto se uvodi nakon obrade nastavnih cjelina područja elektrostatike u kojima se na osnovi promatranja određenih pojava uvode pojmovi naboja, elektrona, električne sile i polja, potencijala i napona te gibanja elektrona u električnom polju. Nakon što učenici više ili manje uspješno povežu te cjeline, prelazi se na područje električne struje, strujnih krugova, električnog otpora, spajanja otpornika, Kirchhoffovih pravila te električne snage i energije.

Jedan od očitijih razloga nastanka miskoncepcija u elektrotehnici je u tome što učenici ne mogu vizualizirati gibanje elektrona ili pak postojanje otpora kristalne rešetke metala gibanju elektrona, ali se zato nastavnici mogu poslužiti analogijama, poput usporedbe strujnog kruga s vodenim krugom u kojem, primjerice, pumpa za vodu koja potiskuje vodu kroz cijevi predstavlja bateriju koja u strujnom krugu tjera elektrone. Također, pokusi i mjerenja koja učenici mogu samostalno obavljati itekako doprinose boljem razumijevanju svih cjelina nastave fizike, pa samim time i elektrotehnike. Strujni krugovi se u gimnazijama obrađuju teorijski (crtanjem shema, grafova, računskim zadacima i primjerima) i ponekad demonstracijom, a u elektrotehničkim je školama učenicima omogućena praktična nastava i vježbe na kojima sami spajaju elemente strujnog kruga, mjere električne veličine te ih povezuju računski i grafički. U razredima elektrotehničkog i srodnih usmjerenja na sličan način nije koncipirana samo nastava fizike, već i drugih predmeta koji obrađuju cjeline

područja elektrotehnike: osnove elektrotehnike, mjerenja u elektrotehnici, elektronički sklopovi i drugi.

Da bi se ispitale možebitne razlike u učeničkom razumijevanju osnovnih koncepata iz područja elektrotehnike koji se prema gimnazijskom programu obrađuju samo u drugom razredu nastave fizike, konstruiran je upitnik s dvanaest relevantnih pitanja koji je proveden u sve četiri generacije učenika gimnazijskog i elektrotehničkog usmjerenja. Analizom rezultata koje su postigli učenici dviju škola, a posebno usporedbom rezultata učenika trećeg razreda s rezultatima ostalih generacija, vidljivo je da se kvalitetnom nastavom može utjecati na koncentraciju pogrešnih ideja i miskoncepcija, ali su rezultati i dalje daleko od odličnih.

2. Pojmovi i koncepti područja elektrotehnike

Prema gimnazijskom programu fizike, Ohmov zakon definira se kao veza električnog napona, jakosti struje i otpora. Da bi učenicima bio razumljiv, potrebno je prethodno objasniti im što te fizikalne veličine opisuju. Dok se električna struja ukratko opisuje kao tok naboja, za razumijevanje napona potrebno je svladati osnovne pojmove elektrostatike: električnu silu, električno polje, električnu potencijalnu energiju, potencijal.

2.1. Napon

Pokušamo li pozitivno nabijeno tijelo ili česticu postaviti u blizinu izvora električnog polja, morat ćemo savladati električnu silu koja na taj naboj djeluje. Što je naboj bliže izvoru, sila je veća, dakle moramo obavljati rad. Omjer obavljenog rada i iznosa naboja, koji iz beskonačnosti (gdje je iznos električne sile jednak nuli) postavljamo u neku točku polja, svojstvo je te točke polja koje nazivamo električni potencijal. Oznaka potencijala je φ , a mjerna jedinica je volt [V].

$$\varphi = \frac{W}{Q} \quad (2.1)$$

Napon U između dviju točaka električnog polja jednak je radu koji je potrebno obaviti da jedinični naboj dovedemo iz jedne točke polja (A) u drugu (B), odnosno, može se kraće definirati kao razlika potencijala tih točaka:

$$U = \varphi_B - \varphi_A \quad (2.2)$$

2.2. Električna struja

Električna struja usmjereno je gibanje slobodnih nosioca naboja vodičem. Uzrok struje je napon. Jakost struje kroz vodič iskazana je nabojem koji u jednoj sekundi prođe poprečnim presjekom vodiča. Oznaka jakosti struje je I , a mjeri se amperima [A].

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.3)$$

Za opis električne struje kao toka naboja žicom, može se koristiti analogija strujanja vode kroz cijev. Prema tome, količina naboja koji u sekundi prođe poprečnim presjekom žice usporediva je s količinom vode koja u sekundi prođe poprečnim presjekom cijevi.

2.3. Otpor i spajanje otpornika

Pri strujanju slobodnih elektrona vodičem (metalnom žicom) oni se sudaraju s atomima kristalne rešetke metala koji, zbog toplote, titraju oko svojih ravnotežnih položaja. To odupiranje metala prolasku elektrona tj. električne struje očituje se kao električni otpor koji se označava slovom R , a mjerna jedinica je om $[\Omega]$.

Električni otpor metalnog vodiča ovisi o njegovim dimenzijama i svojstvu materijala koje nazivamo otpornost, odnosno specifični otpor, čija oznaka je ρ . Otpornost iskazujemo u om metrima $[\Omega\text{m}]$. Tako za vodič duljine l i površine poprečnog presjeka S vrijedi:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.4)$$

Jakost električne struje koja protječe vodičem proporcionalna je naponu na njegovim krajevima, a obrnuto proporcionalna njegovu otporu. To se pravilo naziva Ohmov zakon i kratko se izražava relacijom:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.5)$$

Kod jednostavnih strujnih krugova otpor trošila i vodiča smatramo koncentriranim u jednom elementu, tzv. otporniku. Spajanje više takvih elemenata u strujnim krugovima može se izvršiti na dva načina: serijski i paralelno.

U serijskom spoju više (n) otpornika, njihov ukupni otpor jednak je zbroju njihovih pojedinih otpora:

$$R_{uk} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (2.6)$$

U paralelnom spoju više otpornika, ukupni otpor spoja manjeg je iznosa od otpora bilo kojeg pojedinog otpornika te vrijedi relacija:

$$\frac{1}{R_{uk}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.7)$$

2.4. Električna energija i snaga

Kada električna struja protječe nekim trošilom, primjerice otpornikom, pretvara se u druge vrste energije: toplinsku, kemijsku, mehaničku... Koristeći definicije napona i struje, možemo iskazati promjenu električne energije relacijom:

$$E = U I t \quad (2.8)$$

Budući da snaga odgovara radu obavljenom u jedinici vremena, a rad je jednak promjeni energije, dobivamo relaciju za snagu:

$$P = U I \quad (2.9)$$

Standardna mjerna jedinica energije je džul [J], no u praksi se za rad električne struje, odnosno za električnu energiju, češće upotrebljava jedinica kilovatsat:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (2.10)$$

3. Ohmov zakon i električna energija u programu nastave osnovne i srednjih škola

Pojmove poput električne struje, napona i drugih, opisane u prethodnom poglavlju, učenici susreću u svakodnevnom životu. Da bi ih što bolje razumjeli, potrebno ih je u nastavi fizike i drugih predmeta prikladno obraditi. Prema još uvijek važećem nastavnom planu i programu za osnovnu školu, odnosno HNOS-u, učenici se u 7. razredu osnovnog obrazovanja prvi put susreću s njima na nastavi predmeta Tehnička kultura. Na temelju učeniciima bliskih primjera iz kućanstva. obrađuju se pojmovi: vodič, strujni krug, izvor, trošilo...

U sklopu nastave fizike 8. razreda osnovne škole pojmovi elektrotehnike detaljnije se obrađuju od samog početka nastavne godine, počevši sa strujnim krugom, spajanjem trošila i učincima električne struje, a potom se prelazi na napon, rad i snagu električne struje te konačno električni otpor i Ohmov zakon.

Tema	Ključni pojmovi	Obrazovna postignuća
9. Električna instalacija u kući	fazni vodič, razvodna ploča, osigurač	razlikovati vodiče, osigurače i trošila; zamijeniti oštećeni osigurač na pravilan način

Tablica 3.1: Izvod iz Nastavnog plana i programa za osnovnu školu, 7. razred, Tehnička kultura

Tema	Ključni pojmovi	Obrazovna postignuća
1. Strujni krugovi i njegovi elementi	izvori, trošila, spojne žice (električni vodovi)	sastaviti strujni krug s osnovnim elementima; nacrtati shematski strujni krug grafičkim simbolima i objasniti ulogu svakog elementa strujnoga kruga
2. Električni vodiči i izolatori	vodič, izolator	navesti i razlikovati vodiče i izolatore; složiti strujni krug kojim će se ispitati je li tvar (tijelo) vodič ili izolator
3. Spajanje trošila u strujnome krugu	serijski i paralelni spoj	sastaviti strujni krug i nacrtati shemu strujnoga kruga sa serijski ili paralelno spojenim trošilima; objasniti praktičnu primjenu različito spojenih trošila
4. Učinci električne struje	toplinski, svjetlosni, magnetski i kemijski učinci	prepoznati i navesti uređaje (bez načina rada) u kojima se primijenjuju različiti učinci električne struje

7. Elektroni, pokretljivi ioni i električna struja	nositelji naboja: elektroni i ioni, struja kao pojava	opisati električnu struju kao usmjereno gibanje nositelja naboja; objasniti primjere kada su nositelji električne struje elektroni (u metalima), a kada ioni (u tekućinama i plinovima)
8. Mjerenje električne struje	električna struja, amper, A, ampermetar	spajati ampermetar u strujni krug i izmjeriti električnu struju
9. Električni napon	električni napon, volt, V, voltmetar	opisati električni napon kao energiju po jediničnome naboju koja se iz električnog izvora prenosi strujnim krugom; spajati voltmetar u strujni krug i mjeriti električni napon na trošilu
11. Rad i snaga električne struje	rad električne struje, džul (joule), J, snaga električne struje, vat (watt), W	opisati rad i snagu električne struje; primijeniti izraze za rad i snagu električne struje na praktičnim primjerima
12. Električni otpor	električni otpor, om (ohm), Ω	opisati električni otpor različitih trošila kao svojstvo vodiča; odrediti električni otpor kao količnik električnoga napona i električne struje
13. Ohmov zakon	stalni otpor	opisati i obrazložiti Ohmov zakon: električna struja razmjerna je električnome naponu – količnik električnoga napona na trošilu i električne struje kroz trošilo je stalan; nacrtati grafički prikaz ovisnosti električne struje o naponu za različite otpore
14. Opasnost i zaštita od električnoga udara	ljudsko tijelo – električni vodič, tlo i zemlja – vodič, izolatori, zatvaranje električnoga kruga pri električnom udaru	opisati zatvaranje električnoga udara pri neopreznom rukovanju s izvorom električnog napona; objasniti načine zaštite od električnog udara i pripomoći unesrećenome

Tablica 3.2: Izvod iz Nastavnog plana i programa za osnovnu školu, 8. razred, Fizika

Tema	Ključni pojmovi	Obrazovna postignuća
4. Izrada spojeva električnih vodiča	spoj, vodič, izolator	izvesti spojeve električnih vodiča zapletanjem žice, spojnicama i lemljenjem

Tablica 3.3: Izvod iz Nastavnog plana i programa za osnovnu školu, 8. razred, Tehnička kultura

Znanja o elektrotehničkim veličinama i pojavama stečena u osnovnoj školi nadopunjuju se u gimnaziji nastavom fizike, a u elektrotehničkim školama nastavom fizike i drugih predmeta.

Gimnazijama su ponuđena dva potpuno ravnopravna programa fizike, označena kao A i B inačice, a škole odabiru program, odnosno inačicu za koju drže da je u skladu s njihovim osobitostima, uvjetima i sredinom u kojoj djeluju. Neke sadržaje biraju profesori ovisno o vrsti gimnazije i broju nastavnih sati tjedno, uz uvažavanje naraštaja mladih s kojima rade. Takva zamisao daje mogućnost individualizacije nastave i otvorena je izboru sadržaja u izvedbenom programu kako bi time škole stekle osobni pečat i ugled. Programi se, dakle, nastavljaju na program fizike iz osnovne škole i nastoje, osim ostvarenja općeobrazovnih ciljeva, pripremiti učenike za nastavak školovanja u prirodnim znanostima i tehnici.

	Nastavni sadržaji i pojmovi
2.14.	Model slobodnih elektrona u metalu. Električna struja u metalu. Jakost električne struje i analogija s jakošću strujanja tekućine. Gustoća struje. Međudjelovanje slobodnih elektrona i kristalne rešetke kao uzrok električnoga otpora. Električna struja u tekućinama, plinovima i vakuumu. (IZBORNI SADRŽAJ)
2.15.	Veza između jakosti struje i napona. Električni otpor. Ohmov zakon. Omski i neomski vodiči. Ovisnost otpora o temperaturi. Osnovni pojam supravodljivosti. (IZBORNI SADRŽAJ)
2.16.	Rad u strujnom krugu. Električna snaga. Serijsko i paralelno spajanje otpornika. Elektromotorna sila i unutarnji otpor izvora. Kirchhoffova pravila. Uporaba galvanometra za mjerenje jakosti struje i napona. Ljudsko tijelo u strujnom krugu. (IZBORNI SADRŽAJ)
2.17.	IZBORNI SADRŽAJI: Rješavanje strujnih petlji. Problem smetnje pri mjerenju električne struje. Otpornici u krugu izmjenične struje.

Tablica 3.4: Izvod iz programskog sadržaja nastave fizike, 2. razred gimnazije (A inačica)

Nastavni program fizike u tehničkim školama s četverogodišnjim učenjem fizike ne razlikuje se previše od gimnazijskog programa. Program nije posebno sadržajno razrađen, nego samo okvirno, a škole samostalno sastavljaju svoje izvedbene programe uzimajući u obzir stručni smjer, uvjete i broj nastavnih sati u pojedinoj školi. Sastavljen je tako da omogući razumijevanje načina fizikalnog razmišljanja i pristupa prirodi i tehnici te primjenu usvojenih znanja na probleme značajne za stručni profil kojem je namijenjen. Programom se također želi učenicima omogućiti nastavak školovanja u tehnici, tehnologiji i prirodnim znanostima.

Uloga nastavnog predmeta fizike u obrazovanju elektrotehničara i srodnih područja znanosti jest velika, ali to naravno nije jedini nastavni predmet koji učenike tog usmjerenja upoznaje sa spomenutim konceptima, kao što je to često slučaj u gimnazijama. Iz programa obrazovanja budućih elektrotehničara, tehničara za elektrostrojarstvo, tehničara za elektroniku pa i tehničara za računalstvo može se izdvojiti više predmeta u kojima se nastavne cjeline manje ili više preklapaju:

- Osnove elektrotehnike
- Elektronički materijali i komponente
- Mjerenja u elektrotehnici
- Elektronički sklopovi
- Električni strojevi i uređaji

Primjerice, predmet Osnove elektrotehnike koji se izučava u prvoj godini obrazovanja s po 4 sata tjedno, a u drugoj godini s po 3 sata tjedno nastave, puno detaljnije obrađuje pojmove i koncepte koji su srž ovog rada. Prema tome, nije pogrešno očekivati da učenici elektrotehničkog usmjerenja u odnosu na učenike gimnazijskog usmjerenja bolje shvaćaju temeljne električne fizikalne veličine i zakone.

Tema	Nastavni sadržaji i pojmovi
1. Osnovne električne veličine	Električni strujni krug (elementi strujnog kruga, električni otpor, mjerenje struje i napona). Djelovanje električne struje (toplinski, svjetlosni, magnetski, kemijski, fiziološki učinci struje, zaštita). Električni otpor vodiča. Utjecaj temperature na električni otpor.
2. Ohmov zakon	Međusobna ovisnost napona, struje i otpora u strujnom krugu. Strujno naponska karakteristika. Mjerenje otpora.

3. Električni rad i snaga	Električna energija i rad. Toplinski učinak električne struje (Jouleov zakon, termička korisnost, proračun vodova). Električna snaga.
4. Paralelni spoj otpora	Kirchhoffov zakon za struje (spajanje trošila, struje i ukupni otpor paralelnog spoja otpora, paralelni spoj jednakih otpora, paralelni spoj vrlo velikog i vrlo malog otpora). Snaga kod paralelnog spoja otpora.
5. Serijski spoj otpora	Kirchhoffov zakon za napone (struja, ukupni otpor i padovi napona serijskog spoja otpora, serijski spoj vrlo velikog i vrlo malog otpora). Dijelilo napona (dijelilo napona, promjenljivi otpor). Snaga kod serijskog spoja otpora.
6. Mješoviti spoj otpora	Mješoviti spoj otpora (ukupni otpor i struja spoja, struje i padovi napona pojedinih otpora). Opterećeno naponsko dijelilo. Utjecaj otpora ampermetra i voltmetra na struju i napon strujnog kruga. Unutrašnji otpor izvora (napon neopterećenog i opterećenog izvora, prilagođenje na maksimalnu snagu, izvori stalnog napona i stalne struje).
7. Izvori istosmjernog napona	Primarni kemijski izvori (Leclancheov članak, alkalni članak, živin članak, litijski članak, članak sa srebrenim oksidom). Sekundarni kemijski izvori (olovni akumulator, nikal-kadmijev akumulator). Serijski i paralelni spoj izvora. Solarni izvori. Termički izvori.

Tablica 3.5: Izvod iz programskog sadržaja nastave predmeta Osnove elektrotehnike, 1. razred

4. Ispitivanje stupnja razumijevanja Ohmovog zakona i koncepta električne energije kod učenika srednje škole

4.1. Cilj istraživanja

S obzirom da postoje vidljive razlike između gimnazija i tehničkih i stručnih škola u načinu obrade pojmova elektrotehnike kao i broju sati nastave fizike i drugih predmeta na kojima se ti pojmovi obrađuju, proveden je upitnik čiji zadatak je bio utvrditi u kojoj mjeri učenici svih generacija gimnazijskog i elektrotehničkog usmjerenja razumiju koncepte električne struje, napona, otpora i električne energije. Preciznije, željelo se provjeriti u kojoj se mjeri razlikuje usvojenost istih nastavnih gradiva između ta dva obrazovna smjera.

4.2. Metoda istraživanja

U svrhu istraživanja izrađen je upitnik s dvanaest pitanja vezanih uz osnovne pojmove i koncepte električne struje i energije. Upitnik je proveden 21.12.2015. i 22.12.2015. godine u sva četiri razreda Prve privatne gimnazije s pravom javnosti u Varaždinu te u četiri razreda Elektrostrojarske škole Varaždin, elektrotehničkog smjera.

Upitnik je sastavljen u dva formata: elektroničkom i klasičnom tiskanom formatu te je, ovisno o tehničkim uvjetima u učionicama, korišten jedan od njih. Tiskana verzija upitnika priložena je ovom radu, a elektronička verzija objavljena je na mrežnoj stranici:

<http://limesurvey.srce.hr/27243/lang-hr>

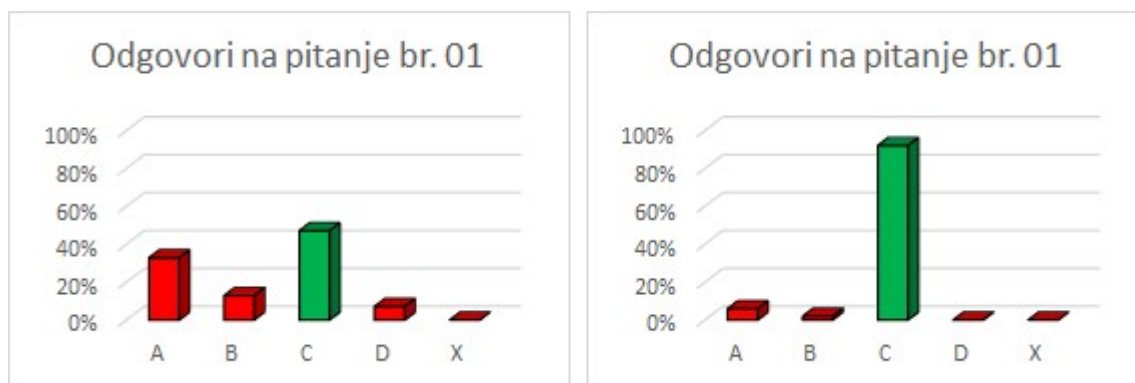
Pitanja za upitnik najvećim su brojem preuzeta iz održanih ispita državne mature iz fizike, zadataka i primjera iz Zbirke zadataka iz fizike za 2. razred gimnazije te nekih mrežnih stranica navedenih u popisu literature ovog rada.

Ponuđeni odgovori (opcije A, B, C i D) podjednako su zastupljeni, tako da ne postoji preferirani odgovor.

U nastavku slijede pitanja iz upitnika, pregled udjela pojedinih odgovora na svako od njih, posebno za učenike gimnazije i posebno za učenike elektrotehničkog smjera te kratki osvrt na svako postavljeno pitanje i dobivene rezultate. Točni odgovori na pitanja označeni su zelenom bojom.

1. Koja se električna veličina mjeri u voltima (npr: 220 V) ?

- A) električna struja
- B) električna energija
- C) **napon**
- D) snaga

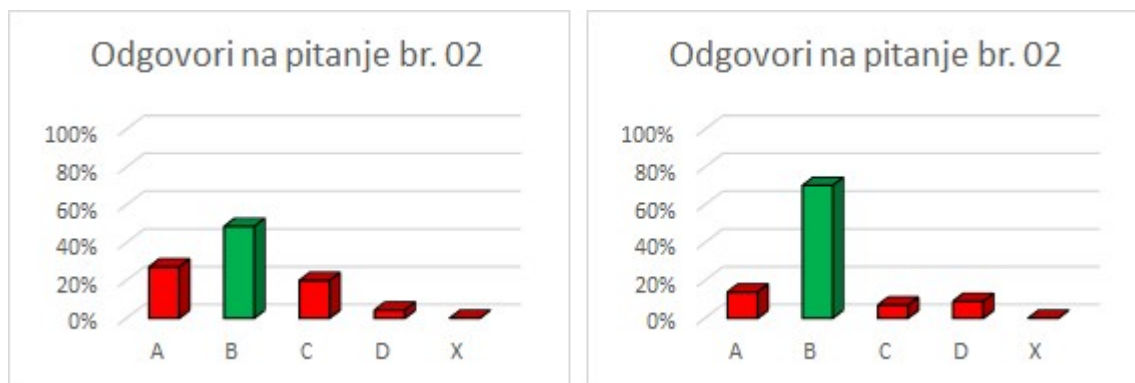


Graf 4.1: Udio pojedinih odgovora na 1. pitanje upitnika po svim razredima:
lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Već na prvo pitanje upitnika, koliko god banalnim se činilo, nisu svi učenici srednjih škola ponudili točan odgovor. Primjetno je da su učenici elektrotehničke škole (92% ispitanih) više upoznati s osnovnim pojmovima i nazivima fizikalnih veličina ovog područja znanosti, u odnosu na učenike gimnazijskog programa (47% ispitanih), jer ih obrađuju na nastavi više različitih predmeta u programu obrazovanja, dok se u gimnazijama spomenuto obrađuje tek u 2. razredu u nastavi fizike.

2. Ako usporedimo strujni krug s vodovodnim sustavom, kojem uređaju bi tada odgovaralo brojilo za vodu, tzv. vodomjer?

- A) voltmetru
- B) **ampermetru**
- C) ommetru
- D) vatmetru

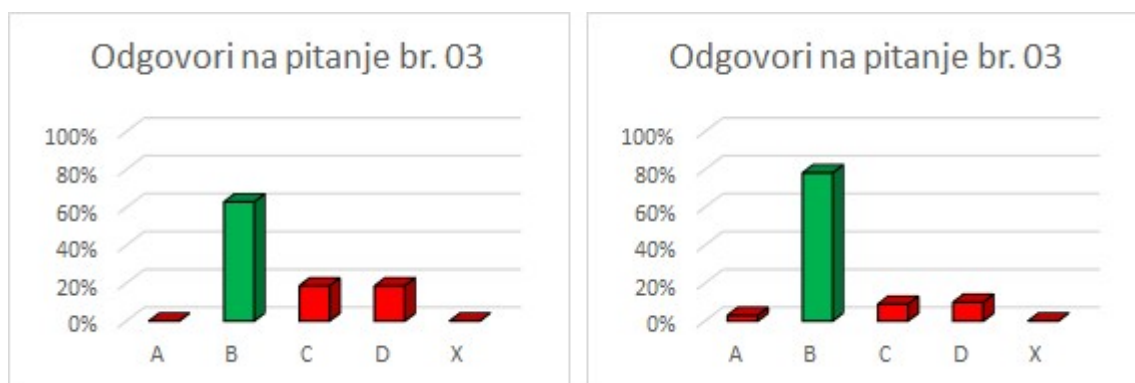
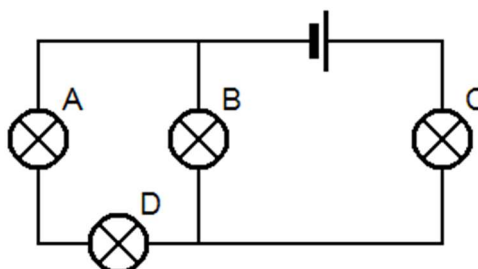


Graf 4.2: Udio pojedinih odgovora na 2. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Razumijevanje određenih, učenicima često kompleksnih područja znanosti, poput primjerice principa rada mjernih električnih instrumenata, uglavnom se pokušava poboljšati uvođenjem analogija. Stoga ne iznenađuju rezultati koji pokazuju da je ipak većina učenika ispravno povezala mjerenje jakosti električne struje u vodiču s mjerenjem količine vode koja protječe nekom cijevi (49%, odnosno, 70% ispitanih).

3. U strujnom krugu prikazanom na shemi jedna je žaruljica pregorjela. Unatoč tome, sve preostale žaruljice i dalje svijetle. Koja je žaruljica pregorjela?

- A) A
- B) B**
- C) C
- D) D

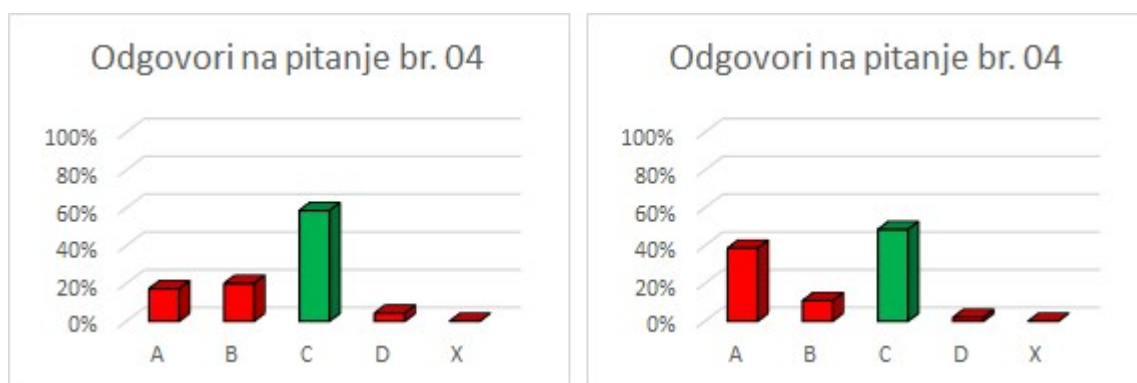
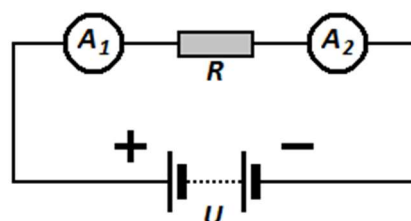


Graf 4.3: Udio pojedinih odgovora na 3. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Trećim, vrlo jednostavnim pitanjem, provjerava se razumiju li učenici što je zatvoreni strujni krug, odnosno što je prekid strujnog kruga. Rezultati su sasvim zadovoljavajući. Točan odgovor ponudilo je 63% učenika gimnazije i 78% učenika elektrotehničke škole. Doista, prema rezultatima upitnika, ovo pitanje je bilo najlakše. Osobno smatram da nekolicina učenika, koji su ponudili netočne odgovore, pripadaju grupi onih koji su upitnik rješavali nasumičnim zaokruživanjem odgovora.

4. Kako će se odnositi iznosi električne struje koje pokazuju ampermetar A_1 i A_2 ako su priključeni serijski otporniku R koji napaja istosmjerni izvor napona U ?

- A) ampermetar A_1 će pokazivati veću struju od A_2
- B) ampermetar A_1 će pokazivati manju struju od A_2
- C) ampermetri će pokazivati jednake iznose struje**
- D) ampermetrima neće teći struja



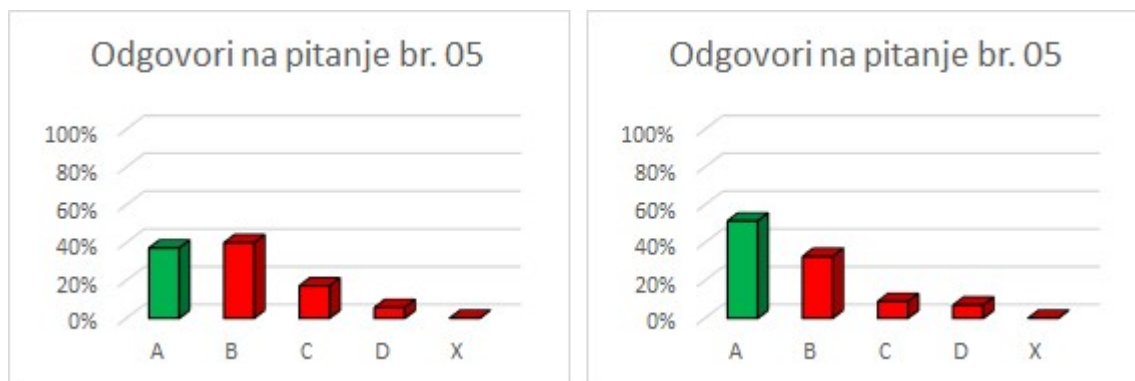
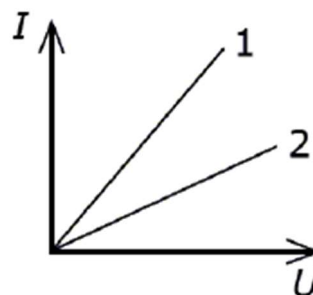
Graf 4.4: Udio pojedinih odgovora na 4. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Poznata miskoncepcija da se električna struja „troši“ u trošilu i dalje je vrlo prisutna kod učenika srednjih škola, pokazuju i rezultati upitnika. Čak 76 od ukupno 171 ispitanog učenika uvjeren je da dva ampermetra prikazana gornjom shemom neće pokazivati istu struju premda pripadaju istom krugu, tj. na istom su vodu. Iznenadujuće je i to što je više učenika gimnazije (59%), nego elektrotehničke škole (49%) odgovorilo točno.

5. Na grafu je prikazana ovisnost jakosti struje I o naponu U za dva vodiča.

Koji vodič ima manji električni otpor?

- A) vodič 1
- B) vodič 2
- C) vodiči imaju jednake otpore
- D) nemoguće je zaključiti na temelju grafa

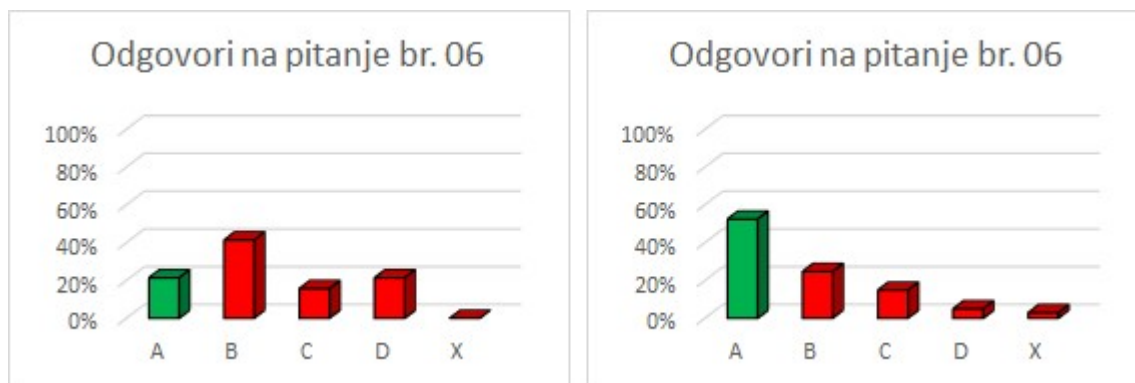


Graf 4.5: Udio pojedinih odgovora na 5. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Kako je prema Ohmovom zakonu struja obrnuto-proporcionalna otporu vodiča, očito je da na I-U grafičkom prikazu pravac većeg nagiba odgovara vodiču manjeg otpora. Nažalost, isti zaključak nije jasan većini ispitanih učenika gimnazijskog programa jer njih samo 37% odgovorilo je točno. Kod učenika elektrotehnike, taj postotak jedva prelazi polovicu (51% ispitanih). Drugo moguće objašnjenje dobivenih rezultata nalazi se u činjenici da učenici općenito slabo razumiju grafičke prikaze zavisnih veličina, no to već izlazi izvan okvira ovog rada.

6. Što će se dogoditi s iznosom jakosti el. struje u strujnom krugu ako smanjimo napon izvora na $\frac{1}{2}$ početne vrijednosti te povećamo otpor trošila dva puta?

- A) smanjit će se 4 puta
- B) smanjit će se 2 puta
- C) ostat će isti
- D) povećat će se 2 puta

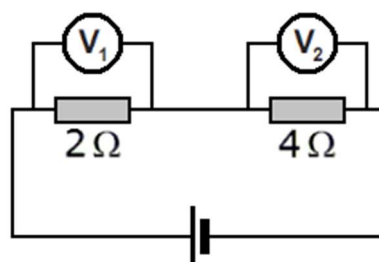


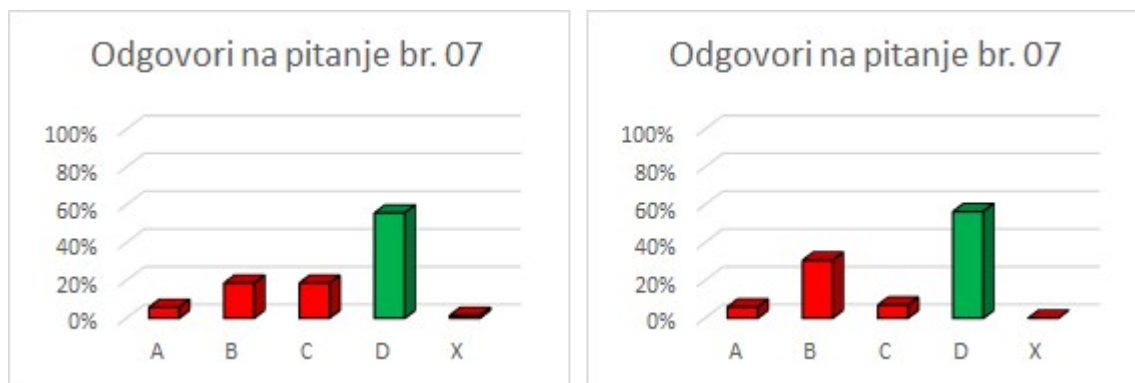
Graf 4.6: Udio pojedinih odgovora na 6. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Kao i kod prethodnog pitanja, nerazumijevanje Ohmovog zakona najveći je uzrok malog udjela točnih odgovora učenika gimnazije (svega 21% ispitanih). Neke od učestalijih „teorija“ učenika su da promjena otpora nema nikakav utjecaj na iznos jakosti električne struje u strujnom krugu te da napon i struja i onako predstavljaju istu veličinu pa ne ovise jedna o drugoj. U skladu s tim miskoncepcijama, više učenika gimnazije je kao točan odgovor ponudilo B, umjesto odgovora A. U elektrotehničkoj školi, u kojoj se osnove elektrotehnike kao zaseban predmet uči od prvog razreda, više je učenika (53%) ispravno povezalo međusobnu ovisnost triju osnovnih fizikalnih veličina spomenutog zakona.

7. Shema prikazuje strujni krug. Voltmetar V_1 pokazuje 8 V. Koliko pokazuje voltmetar V_2 ?

- A) 2 V
- B) 4 V
- C) 8 V
- D) 16 V**





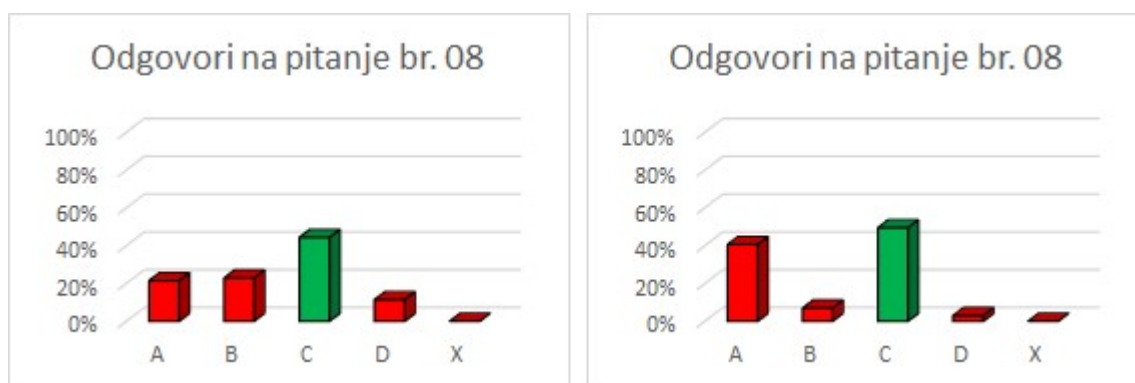
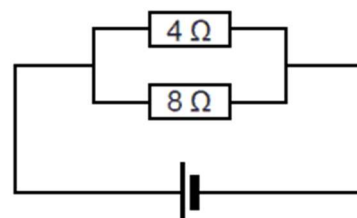
Graf 4.7: Udio pojedinih odgovora na 7. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Ako se ovisnost pada napona na otporniku o njegovom otporu prikaže shematski, tako da proporcionalnost bude očitija, rezultati su nešto bolji. Na jednostavnom primjeru poput ovog prikazanog u upitniku, 56% ispitanih učenika u obje škole osnovnom je matematičkom dedukcijom došlo do ispravnog odgovora.

8. Dva su otpornika paralelno priključena izvoru. Kroz otpornik iznosa otpora 4Ω teče struja I_1 , dok kroz otpornik od 8Ω teče struja I_2 .

Kako se odnose iznosi jakosti struja I_1 i I_2 ?

- A) $I_1 = \frac{1}{2} I_2$
- B) $I_1 = I_2$
- C) $I_1 = 2 I_2$**
- D) $I_1 = 4 I_2$



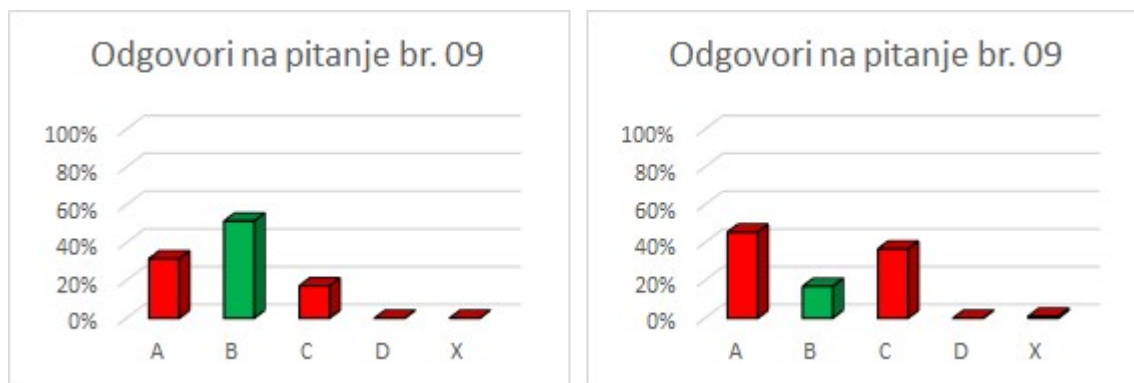
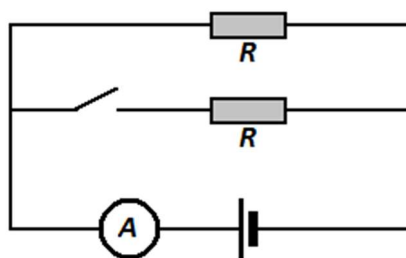
Graf 4.8: Udio pojedinih odgovora na 8. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Vrlo slično prethodnom pitanju, ovdje se provjerilo razumijevanje obrnuto-proporcionalne veze jakosti struje i otpora pojedine grane. Dok kod nekih učenika vlada

mišljenje da struja ne ovisi o otporu, drugi ih povezuju linearno, ali ipak većina učenika promatra otpor kao svojevrsno ograničenje jakosti struje (44% ispitanih učenika gimnazije, 50% ispitanih učenika elektrotehničke škole).

9. Kada se zatvori prekidač u krugu prikazanom na slici, ampermetar će pokazivati:

- A) manju jakost struje nego prije
- B) veću jakost struje nego prije**
- C) jednaku jakost struje kao i prije
- D) pokazivat će nulu



Graf 4.9: Udio pojedinih odgovora na 9. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Vrijednost ukupnog otpora paralelnog spoja određuje se zbrajanjem recipročnih vrijednosti pojedinih otpora otpornika. Spomenuti račun, za razliku od izravnog zbrajanja vrijednosti kod serijskog spoja, većini učenika nije tako jednostavan kako se na prvi pogled čini. Uglavnom im je „logičnije“ da više otpornika u strujnom krugu uvijek daje veći otpor pa samim time i dodavanje otpora nužno smanjuje jakost struje glavnog strujnog kruga, bez obzira na vrstu spoja. Uz takve „teorije“, ne iznenađuje podatak da je čak 47% ispitanih učenika elektrotehničkog smjera zaokružilo odgovor A, dok je svega 17% ispitanih zaokružilo ispravan odgovor B. Zanimljivo je da, uz manje razmatranja Ohmovog zakona, više učenika „pogodi“ točan odgovor, što se vidi po rezultatima učenika gimnazijskog programa. Naime, u razgovoru s učenicima, jedan od učestalijih komentara glasilo je: *Naravno, ako zatvorimo sklopku, poteći će struja i tom žicom, pa će ukupna struja biti veća.*

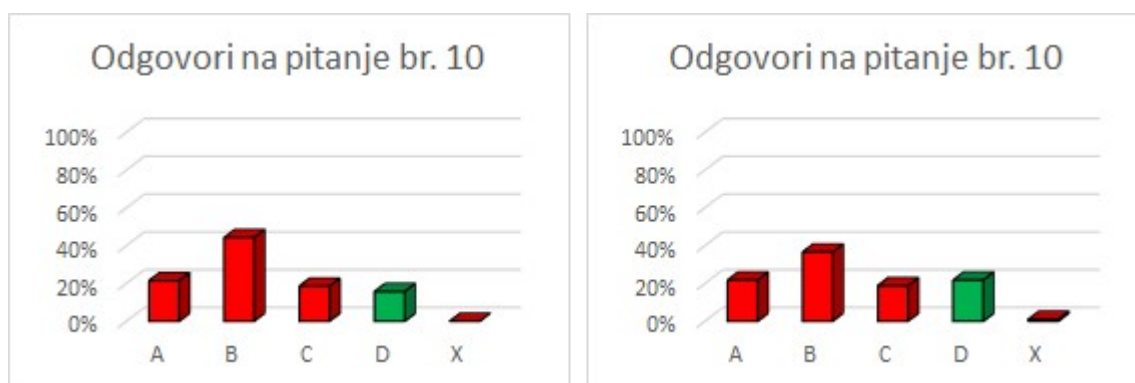
10. Luka i Marko raspravljaju o računu koji im je poslala Hrvatska elektroprivreda.

Luka: „*Kilovatsati! Toliko smo struje potrošili.*“

Marko: „*Ne! To je mjera električne snage koju smo iskoristili.*“

Tko je u pravu?

- A) Luka
- B) Marko
- C) obojica
- D) nijedan

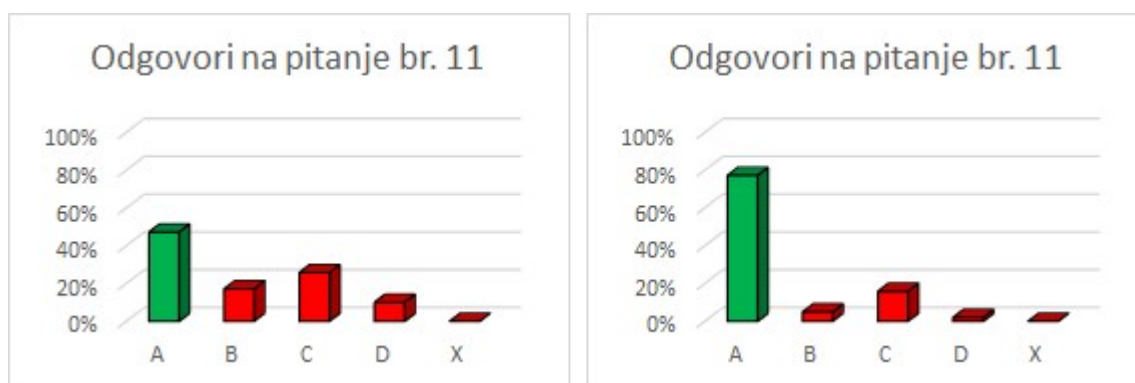


Graf 4.10: Udio pojedinih odgovora na 10. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Razlog zašto je 10. pitanje tako formulirano jednim je dijelom provjera koliko je kod učenika ukorijenjeno mišljenje da se električna struja i troši i plaća, a drugim dijelom pak koliko učenici razumiju što su složene mjerne jedinice. Prema rezultatima i komentarima učenika na ovo pitanje, može se zaključiti da su uglavnom bili u dvojbi: *Ako je struja ta koja se troši, zašto je izražena u kilovatsatima?* S obzirom da su upoznati sa snagom kao fizikalnom veličinom koja se mjeri u vatima (što iz drugih područja fizike, što iz drugih nastavnih predmeta), a nisu obratili pozornost na energiju kao umnožak te snage i vremena, ne iznenađuje najveći postotak odgovora B kod učenika obiju škola. Ovo pitanje upitnika ujedno je i najmanjim postotkom riješeno. Svega 19% svih ispitanih učenika ponudilo je točan odgovor.

11. Na nekom električnom uređaju stoje oznake: 9 V, 36 W. Kolika je jakost struje koja njime prolazi u vrijeme rada?

- A) 4 A
- B) 1 A
- C) 0,25 A
- D) 0 A

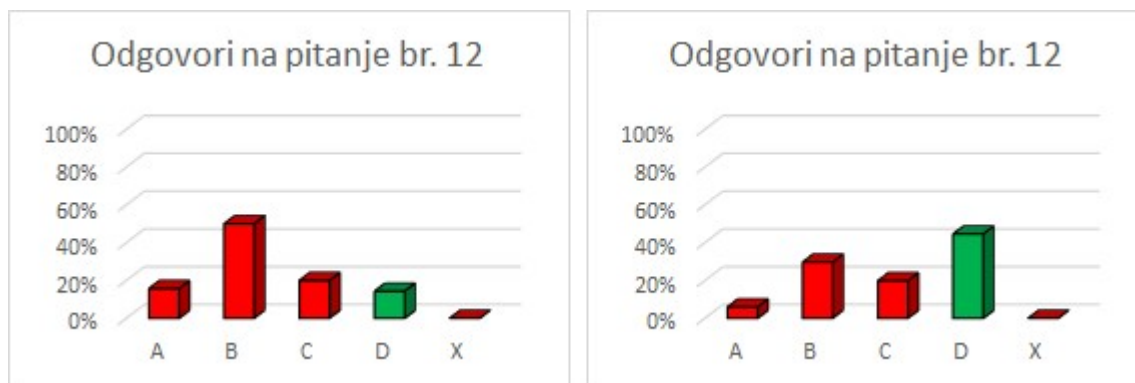


Graf 4.11: Udio pojedinih odgovora na 11. pitanje upitnika po svim razredima: lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

Uz poznavanje električne snage uređaja kao umnoška napona i jakosti el. struje koja njime prolazi ili pak, vodeći se nekom jednostavnom logikom da više znači „snaga“, 47% ispitanih učenika gimnazijskog programa i čak 77% ispitanih učenika elektrotehničke odgovorilo je ispravno. Da su vrijednosti zadanog napona i snage bile zadane obratno, tj. tako da iznos jakosti struje u tom primjeru bude manji od 1A, vrlo vjerojatno bi odgovori u razredima koji s formulom električne snage nisu upoznati bili drugačiji.

12. Električni grijač snage P se pri radu zagrijava jer sadrži otporni vodič duljine L . Kako će se promijeniti snaga grijača na istom naponu, ako duljinu tog vodiča prepolovimo?

- A) smanjit će se na četvrtinu početne vrijednosti
- B) smanjit će se na polovicu početne vrijednosti
- C) ostat će ista
- D) povećat će se dvostruko



Graf 4.12: Udio pojedinih odgovora na 12. pitanje upitnika po svim razredima:
lijevo – gimnazija, desno – elektrotehnička škola

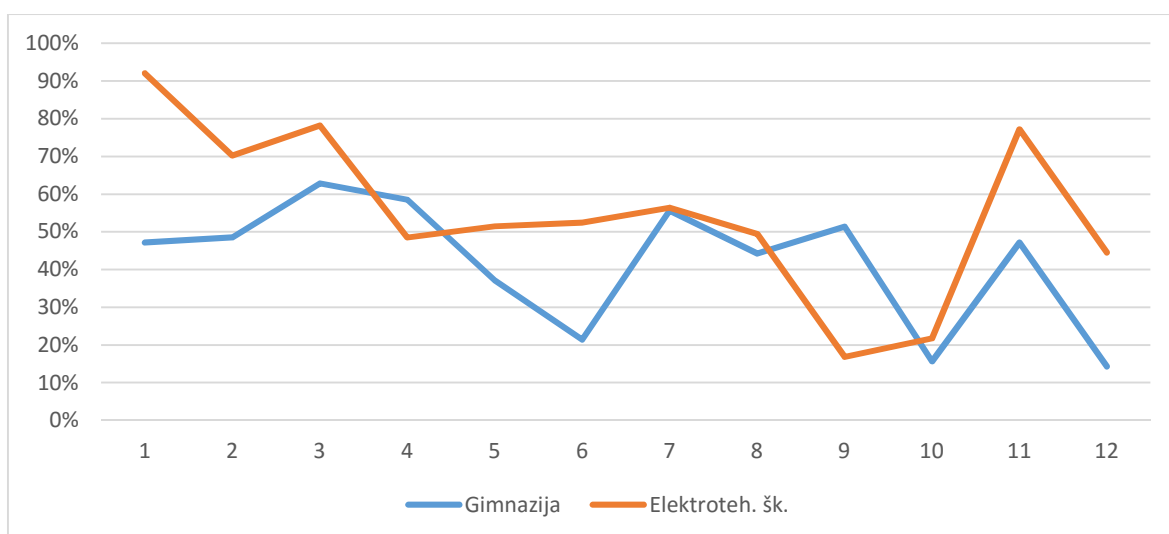
U posljednjem pitanju upitnika, za učenike gimnazijskog programa ujedno i najtežem pitanju (svega 10% ispitanih odgovorilo je ispravno), ispitalo se koliko dobro učenici povezuju električnu snagu i otpor uređaja koji je proporcionalan duljini vodiča. Naime, „logika“ da kraće znači manje ovdje jednostavno nije ispravna. Pri stalnom naponu kraći vodič ima manji otpor, što znači da propušta struju veće jakosti pa samim time i snaga postaje veća. Tu vezu ispravno je primijetilo 45% ispitanih učenika elektrotehničkog smjera i to uglavnom učenici 3. razreda.

Konačno, ako analiziramo koliko je ukupno ispitanih učenika točno odgovorilo na pojedino pitanje, možemo reći koje je pitanje bilo najlakše, a koje najteže. Dok je na prvo pitanje upitnika točno odgovorilo 126 učenika od ukupno 171 ispitanog, što je 74%, na deseto pitanje točno je odgovorilo svega 33 učenika, odnosno 19%. Zbrojevi i udjeli točnih odgovora na sva pitanja upitnika dani su Tablici 4.1.

Redni broj pitanja	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Točnih odgovora	126	105	123	90	78	68	96	81	53	33	111	55
Postotak riješenosti	74%	61%	72%	53%	46%	40%	56%	47%	31%	19%	65%	32%

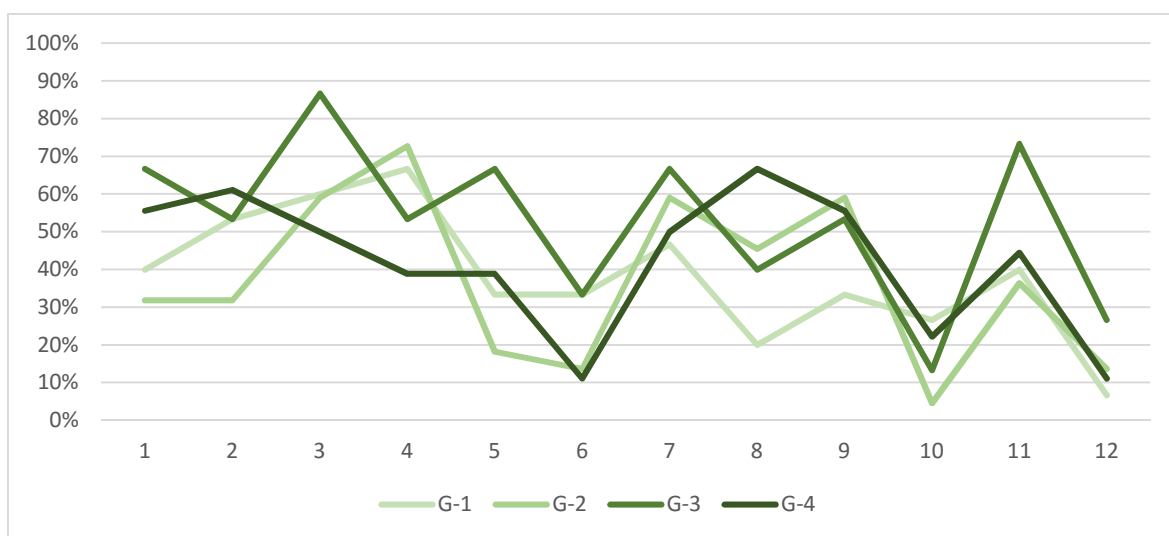
Tablica 4.1: Zbroj i udio točnih odgovora po pitanjima upitnika

Usporedimo li zbirne rezultate koje su postigli učenici dviju škola u kojima je proveden upitnik, postaje vidljivo da su učenici elektrotehničkog usmjerenja više upoznati s konceptima električne struje, napona, otpora, snage i energije, što je razumljivo s obzirom da ih obrađuju na više predmeta u sklopu obrazovanja. Primjerice, Ohmov zakon se obrađuje i primjenjuje u nastavi predmeta: osnove elektrotehnike, mjerenja u elektrotehnici, elektronički sklopovi, električni strojevi i uređaji i nekim drugim. Također, u sklopu nastave fizike učenici svih četiriju generacija odrađuju i praktične vježbe, dok je u gimnaziji nastava uglavnom samo teorijski koncipirana.

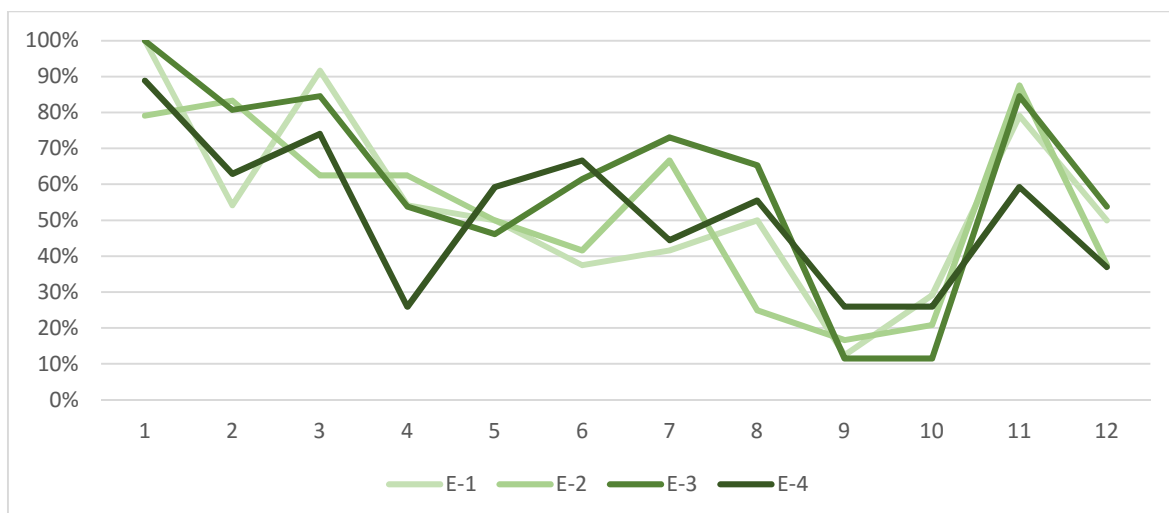


Graf 4.13: Udio točnih odgovora po pitanjima upitnika provedenog u Gimnaziji i Elektrotehničkoj školi

Nadalje, primjetno je da su učenici trećih razreda (u obje škole) većim postotkom točno riješili gotovo sva pitanja upitnika u odnosu na svoje mlađe, ali i starije kolege iz škole. Dok su rezultati po razredima elektrotehničkog usmjerenja više kompaktni, kod razreda gimnazije vidljiva je veća razlika između rezultata učenika 3. razreda i rezultata ostalih razreda. Razlog tomu je vjerojatno to što se Ohmov zakon i ostali koncepti, čije razumijevanje provjerava ovaj rad, uče samo na nastavi fizike prema programu u drugom polugodištu drugog razreda.



Graf 4.14: Udio točnih odgovora po pitanjima upitnika provedenog u sva četiri razreda Gimnazije

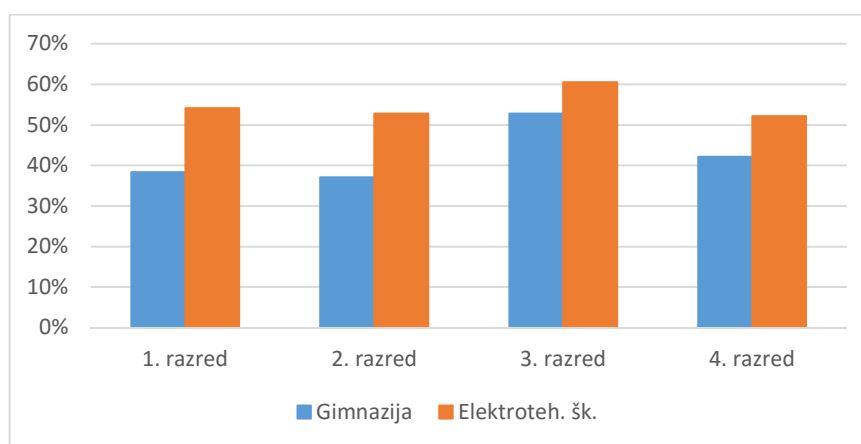


Graf 4.15: Udio točnih odgovora po pitanjima upitnika provedenog u sva četiri razreda Elektrotehničke škole

5. Zaključak

Primarni cilj ovog rada bio je utvrđivanje razlike u shvaćanjima temeljnih električnih fizikalnih veličina i zakona između učenika gimnazija i učenika tehničkih škola. Nakon cjelokupne obrade dobivenih rezultata, može se zaključiti kako učenici elektrotehničkog usmjerenja doista bolje razumiju koncepte električne struje, Ohmovog zakona i električne energije od kolega iz gimnazije. Rezultati istraživanja nisu iznenađujući s obzirom da su ti koncepti u elektrotehničkim školama baza struke za koju se kroz nastavu pripremaju. Pojmove poput jakosti struje, napona i otpora obrađuju detaljnije i u sklopu više nastavnih predmeta, primijenjuju znanja na vježbama i satovima praktične nastave, dok se u gimnazijama nastava elektrotehnike odvija uglavnom teorijski, kao jedna od više cjelina znanosti fizike, ni manje ni više značajna od primjerice mehanike ili termodinamike.

Da i tako koncipirana nastava fizike ima svojih uspjeha, vidljivo je iz Grafa 5.1. u kojem su navedeni postotci riješenosti upitnika po razredima obiju škola. Učenici 3. razreda gimnazije riješili su upitnik s 53% točnih odgovora i time se približili rezultatima ostalih generacija učenika elektrotehnike. Nažalost, takvo znanje nije dugoročno i ima slabi civilizacijski značaj. Postotak riješenosti upitnika učenika 4. razreda (gimnazija: 42%, elektrotehnika: 52%) pokazuje da učenici brzo zaboravljaju ideje i objašnjenja koja im nastavnici u prethodnim godinama pokušavaju približiti.



Graf 5.1: postotak točnih rješenja upitnika po razredima

Bez problemski usmjerene nastave, praktičnih pokusa i samostalnog rada učenika teško se može očekivati da će učenici steći dovoljno znanja za daljnja napredovanja u obrazovanju i/ili struci. Kao što nažalost vrijedi „pravilo“ da učenici nakon završene osnovne

škole brzo zaboravljaju gradivo, tako i učenici koji završetkom srednjoškolskog obrazovanja upisuju tehničke fakultete često na studiju kreću „iz početka“.

Ako je suditi po provedenom upitniku, tek svaki 25. učenik, prema kriterijima Državne mature, zaslužuje ocjenu odličan, dok čak 21,5% učenika gimnazije stečenim znanjem ne prelazi prag ocjene dovoljan (prema istim kriterijima Državne mature). Prosječna ocjena, odnosno prosječan broj točnih odgovora svih ispitanika iznosi 5,96/12 što je, u najmanju ruku, poražavajuće.

Dodaci

Dodatak A:

UPITNIK: Ohmov zakon i koncept električne energije u nastavi fizike, proveden u *Prvoj privatnoj gimnaziji s pravom javnosti Varaždin* te u *Elektrostrojarskoj školi Varaždin*, 21. prosinca i 22. prosinca 2015. godine

1. Koja se električna veličina mjeri u voltima (npr: 220 V) ?

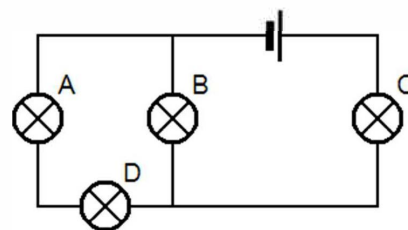
- A) električna struja
- B) električna energija
- C) napon
- D) snaga

2. Ako usporedimo strujni krug s vodovodnim sustavom, kojem uređaju bi tada odgovaralo brojilo za vodu, tzv. vodomjer ?

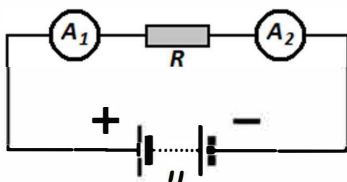
- A) voltmetru
- B) ampermetru
- C) ommetru
- D) vatmetru

3. U strujnom krugu prikazanom na shemi jedna je žaruljica pregorela. Unatoč tome, sve preostale žaruljice i dalje svijetle. Koja je žaruljica pregorela?

- A) a
- B) b
- C) c
- D) d



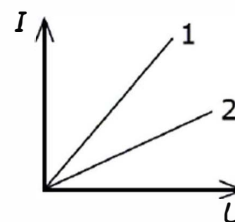
4. Kako će se odnositi iznosi električne struje koje pokazuju ampermetar A_1 i A_2 ako su priključeni serijski otporniku R koji napaja istosmjerni izvor napona U ?



- A) ampermetar A_1 će pokazivati veću struju od A_2
- B) ampermetar A_1 će pokazivati manju struju od A_2
- C) ampermetri će pokazivati jednake iznose struje
- D) ampermetrima neće teći struja

5. Na grafu je prikazana ovisnost jakosti struje I o naponu U za dva vodiča. Koji vodič ima manji električni otpor?

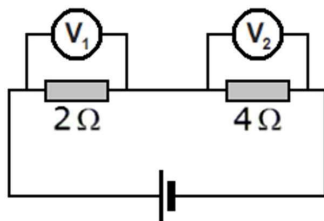
- A) vodič 1
- B) vodič 2
- C) vodiči imaju jednake otpore
- D) nemoguće je zaključiti na temelju grafa



6. Što će se dogoditi s iznosom jakosti el. struje u strujnom krugu ako smanjimo napon izvora na $\frac{1}{2}$ početne vrijednosti te povećamo otpor trošila dva puta?

- A) smanjit će se 4 puta
- B) smanjit će se 2 puta
- C) ostat će isti
- D) povećat će se 2 puta

7. Shema prikazuje strujni krug. Voltmetar V_1 pokazuje 8 V. Koliko pokazuje voltmetar V_2 ?

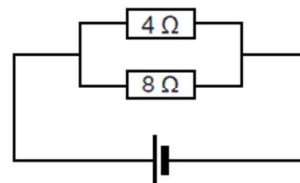


- A) 2 V
- B) 4 V
- C) 8 V
- D) 16 V

8. Dva su otpornika paralelno priključena izvoru. Kroz otpornik iznosa otpora 4Ω teče struja I_1 , dok kroz otpornik od 8Ω teče struja I_2 .

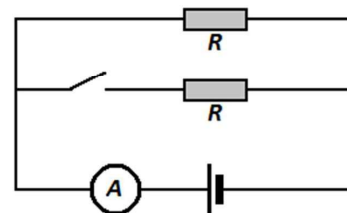
Kako se odnose iznosi jakosti struja I_1 i I_2 ?

- A) $I_1 = \frac{1}{2} I_2$
- B) $I_1 = I_2$
- C) $I_1 = 2 I_2$
- D) $I_1 = 4 I_2$



9. Kada se zatvori prekidač u krugu prikazanom na slici, ampermetar će pokazivati:

- A) manju jakost struje nego prije
- B) veću jakost struje nego prije
- C) jednaku jakost struje kao i prije
- D) pokazivat će nulu



10. Luka i Marko raspravljaju o računu koji im je poslala Hrvatska elektroprivreda.

Luka: „*Kilovatsati! Toliko smo struje potrošili.*“

Marko: „*Ne! To je mjera električne snage koju smo iskoristili.*“

Tko je u pravu?

- A) Luka
- B) Marko
- C) obojica
- D) nijedan

11. Na nekom električnom uređaju stoje oznake: 9 V, 36 W. Kolika je jakost struje koja njime prolazi u vrijeme rada?

- A) 4 A
- B) 1 A
- C) 0,25 A
- D) 0 A

12. Električni grijač snage P se pri radu zagrijava jer sadrži otporni vodič duljine L . Kako će se promijeniti snaga grijača na istom naponu, ako duljinu tog vodiča prepolovimo?

- A) smanjit će se na četvrtinu početne vrijednosti
- B) smanjit će se na polovicu početne vrijednosti
- C) ostat će ista
- D) povećat će se dvostruko

Literatura

1. Paar, V., Šips, V. FIZIKA 2, udžbenik za 2. razred gimnazije, Zagreb, Školska knjiga d.d., 2008.
2. Vlaho, Đ., Vlaho, Z., Paar, V. FIZIKA 2, inačica A, priručnik za nastavnike, Zagreb, Školska knjiga d.d., 2007.
3. Krsnik, R. FIZIKA 2, inačica B, metodički priručnik za nastavnike, Zagreb, Školska knjiga d.d., 2003.
4. Brković, N. Zbirka zadataka iz fizike, II. dio, Zagreb, Luk d.o.o., 2001.
5. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Državna matura 2014./2015., Jesenski rok, FIZIKA, http://dokumenti.ncvvo.hr/Matura_14_15/Jesen/Hrvatski/FIZ.zip, 7.11.2015.
6. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Državna matura 2014./2015., Ljetni rok, FIZIKA, http://dokumenti.ncvvo.hr/Matura_14_15/Ljeto/Hrvatski/FIZ.zip, 7.11.2015.
7. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Državna matura 2011./2012., Jesenski rok, FIZIKA, http://dokumenti.ncvvo.hr/Matura_11_12/Jesen/Hrvatski/FIZ.zip, 7.11.2015.
8. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Državna matura 2010./2011., Ljetni rok, FIZIKA, http://dokumenti.ncvvo.hr/Matura_10-11/Hrvatski/Izborni/Ljeto/fiz.zip, 7.11.2015.
9. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Probna državna matura 2008./2009., FIZIKA, http://dokumenti.ncvvo.hr/Svi_ispiti/Fizika/PM_09.zip, 7.11.2015.
10. Electrician Exams Practice Tests, *Ohm's Law Quiz Questions*, <http://www.electricianexampracticetests.com/electrical-theory/ohms-law-test-questions/>, 11.12.2015.
11. India BIX, *Ohm's Law*, <http://www.indiabix.com/electronics/ohms-law/>, 11.12.2015.
12. The Physics Classroom, *Ohm's Law*, <http://www.physicsclassroom.com/class/circuits/Lesson-3/Ohm-s-Law>, 12.12.2015.

13. ProProfs Quiz Maker, *Electricity And Ohms Law*, <http://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=120905>, 12.12.2015.
14. Hrvatski nacionalni obrazovni standard (HNOS): Nastavni plan i program za osnovnu školu, Zagreb, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, 2013.
15. Nastavni programi za gimnazije, Nastavni plan i program za fiziku, Ministarstvo kulture i prosvjete, Zagreb, 1994.
16. Nastavni planovi i okvirni programi za područje elektrotehnike (A), Ministarstvo prosvjete i športa Republike Hrvatske, Zagreb, 1996.
17. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja (NCVVO): Ispitni katalog za državnu maturu u školskoj godini 2015./2016., *FIZIKA*, http://dokumenti.ncvvo.hr/Ispitni_katalozi_15-16/Hrvatski/FIZ_IK_16.pdf, 6.2.2016.
18. Hrvatsko fizikalno društvo, *Usvojenost nekih temeljnih fizikalnih ideja kod gimnazijalaca i studenata fizike*, <http://nastava.hfd.hr/simpozij/2001/2001-Planinic,Krsnik,Pecina.pdf>, 13.2.2016